

Yayın Geliş Tarihi: 07.01.2020
Yayına Kabul Tarihi: 19.05.2020
Online Yayın Tarihi: 05.08.2020
DOI: 10.18613/deudfd.775117
Araştırma Makalesi

Dokuz Eylül Üniversitesi
Denizcilik Fakültesi Dergisi
Cilt: 12 Sayı: 1 Yıl: 2020 Sayfa:25-45
ISSN:1309-4246
E-ISSN: 2458-9942

OPTİMAL SÜRDÜRÜLEBİLİR ROTA TESPİTİ İÇİN GEREKLİ GÖSTERGELERİN BİR ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ İLE ÖNEM DÜZEYİ TESPİTİ

Volkan ÇETİNKAYA¹
D. Ali DEVECİ²

ÖZET

Günümüzde, ulaştırma politika alanındaki karar vericilerin karşılaştıkları temel sorun, maliyet, istihdam, gayrisafi milli hasıla, enerji tüketimi ve çevresel sorunlar kapsamında ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik sağlayabilmek için bir dizi etkili politika oluşturmaktır. Bu politikalar ile ilgili olarak çoklu taşıma da, özellikle ekonomik verimliliği sağlayabilmek amacı ile uluslararası düzeyde desteklenen ve uygulanan bir taşıma sistemidir. Çoklu taşımada sürdürülebilir rota seçimi de kamu ve yük taşıyan/taşıtan karar vericileri açısından önemli ve stratejik bir karardır. Sürdürülebilir çoklu taşıma rotalarının seçimi için ilk olarak rota performans ölçümü için gerekli göstergelerin önem düzeyi tespit edilmelidir. Bu çalışmada, rota seçim kararının önemi kabul edilerek, sürdürülebilir çoklu taşıma rotası tespiti için gerekli sürdürülebilirlik göstergelerinin önem düzeyi BWM (Best-Worst Method) çok kriterli bir karar verme modeli ile tespit edilmeye çalışılmıştır.

Araştırmanın sonucunda karar vericilerin sürdürülebilir çoklu taşıma rotası seçerken kullanabilecekleri sürdürülebilirliğin üç boyutu ile ilgili göstergelerin önem düzeyi ortaya çıkarılmış ve elde edilen bu önem düzeylerinin farklı rota seçim modelleri için girdi oluşturması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Sürdürülebilir çoklu taşıma, rota seçimi, çok kriterli karar verme, BWM (Best-Worst method) yöntemi.

¹ Öğretim Görevlisi Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, volkan.cetinkaya@deu.edu.tr. Orcid no: 0000-0001-8921-1311

² Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, adeveci@deu.edu.tr. Orcid no: 0000-0001-8348-073X

DETERMINING THE IMPORTANCE LEVEL OF THE INDICATORS TO SELECT THE OPTIMAL SUSTAINABLE INTERMODAL TRANSPORT ROUTES THROUGH A MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHOD

ABSTRACT

The basic challenge recently encountered by the decision makers involved in transport policies is to create a set of effective policies so as to provide economic, environmental and social sustainability as a response to various difficulties suffered in costs, employment, gross national product, energy consumption and environmental concerns. One of the transport policies worked on is related to multimodal transportation which has been an internationally practiced, promoted and accepted transportation system known for its advantages in gaining economic efficiency in particular. Selecting sustainable routes in intermodal transport has been important and strategic decision to be considered by the decision makers involved in cargo carriers/shippers. To select the sustainable routes in intermodal transport, the very first thing to do is to determine the importance levels of the indicators required to measure the route performances, having considered the importance of the decisions in route selection. This study aims to determine the importance levels of the sustainability indicators required in selection of sustainable intermodal routes by means of a multi-criteria decision making method; called BWM (Best-Worst Method). As a result of this study, the importance level of the indicators regarding the three dimensions of sustainability which could be made use of while making decisions in selecting sustainable routes in intermodal transport has been revealed, and the determined importance values could be used as inputs in diverse route choice models.

Keywords: Sustainable intermodal transport, route selection, multi-criteria decision making, BWM (Best-Worst method).

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir ulaştırma; ulaşım gereksinimleri karşılanan kişi ve malların uzun vadeli, tolere edilebilir yer değiştirme aktivitelerinin gerçekleştirilmesidir. (Omann ve Seebauer, 2008). Brundtland Raporu, (1987)'de sürdürülebilir ulaştırma; gelecekteki nesillerin ulaşım ve yer değiştirme ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini tehlikeye atmadan, mevcut ulaşım ve yer değiştirme ihtiyaçlarımızın karşılanması olarak belirtilmiştir. UNCTAD (2015) raporuna göre sürdürülebilir ulaştırma; ulaştırma hizmetinin ekonomik, çevresel ve sosyal faktörlerin dengelenerek sunulmasıdır. Ulaştırmada ekonomik sürdürülebilirlik; ulaştırma faaliyetinden gelir sağlanır iken, yatırımcı tarafından yapılan yatırımın

korunmasına, çevresel sürdürülebilirlik hiçbir sistemin diğer sistemlere zarar vermeden büyüemeyeceğinden hareketle çevreye verilen zararın azaltılmasına ve sosyal sürdürülebilirlik ise eğitim, yetenek, deneyim, gelir, istihdam ve toplumsal kararlarda söz hakkı olma gibi değerlere dayanır.

Araştırma kapsamındaki çoklu taşıma literatür tarama sonucunda görülmektedir ki tüm taşıma türlerinin etkin yönlerini ulaştırma sistemine entegre ederek, aslında temelinde ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak olan çoklu yük taşımacılığında rota seçim kararlarına yönelik uygulamalar son yıllarda oldukça artmıştır. Fakat seçimi yapan ulaştırma yöneticileri genellikle maliyet ve transit süre gibi iki temel kavramı değerlendirerek bir seçim yapar. Diğer taraftan çoklu taşıma sistemi sürdürülebilirliğin tüm göstergeleri ile bütünleşik olarak ele alınmalıdır.

Politika oluşturucuların en temel hedefi olan sürdürülebilir bir ulaştırma hedefi için ilk aşama sürdürülebilir ulaştırma rotalarının tespittir. Bir çoklu ulaştırma rotasında sürdürülebilirlik değerlendirmesi için en önemli aşama ise sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin belirlenerek, bu göstergelerin önem düzeyinin tespit edilmesidir.

Rota seçim kararları ulaştırma sistemi için zor kararlardır ve karar vericilerde önemli bir bilgi, birikim ve tecrübe bulunmasını gerektirir. Kararların zor olmasının sebebi karara etken olan çok sayıda nicel ve nitel faktörün öneminin karar vericinin bilgi, deneyim ve tecrübesine bağlı olarak; yani algısal olarak değişkenlik göstermesidir. Algısal olarak değişkenlik gösteren faktörlerin önem düzeyinin ölçülmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerine başvurulmaktadır. Çok kriterli karar verme problemleri birden fazla kriterin optimize edildiği mümkün çözüm setleri içerisinde en iyi alternatifin seçildiği problemler olarak da tanımlanabilir (Turan, 2015).

Karar vermenin en çok bilinen dallarından biri olan çok kriterli karar verme, bir dizi karar kriterinin varlığı altında karar verme problemi olarak tanımlanabilir (Karaman, 2014). Çok kriterli karar verme yöntemleri normalleştirme, ağırlıklandırma ve sıralama gibi aşamalar içermektedir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden 2015 yılında (Rezaei, 2015) tarafından literatüre kazandırılan BWM (Best-Worst Method) kullanılacak olup, çoklu ulaştırmada rota seçimi için gerekli göstergelerin önem düzeyi tespit edilecektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

UNCTAD (1981) tarafından oluşturulan Uluslararası Çoklu Taşıma Sözleşmesi'nde 'multimodal' taşıma olarak geçmekte olan çoklu taşıma kavramı için hukuksal anlamda ilk tanım 'malların en az iki farklı taşıma türü kullanılması şartı ile, taşıyıcı tarafından teslim alınarak, teslim edilmesi amacı ile karar verilen yere tek bir taşıma sözleşmesi yapılarak taşınması' olarak belirtilmiştir.

1990-2019 yılları arası çoklu taşıma üzerine odaklanan çalışmalar, Web of Science, ScienceDirect, Scopus ve TR Dizin veritabanlarında incelendiğinde; ilk yıllarda maliyet ve süre değişkenleri değerlendirilerek rota seçim problemleri üzerinde durulduğu görülmektedir. Çoklu taşıma koridorlarında rota seçimi ile ilgili ilk önemli çalışmalardan biri Banomyong ve Beresford (2001) tarafından gerçekleştirilmiş olup, bu çalışmada maliyet, transit süre ve mesafe değişkenleri göz önüne alınarak, Beresford maliyet-süre analizi yöntemi ile Laos ve Singapur arasında uygun rota seçimi yapılmıştır. Boardman vd. (1997) maliyet ve transit süre değişkenlerini kullanarak K-En Kısa Yol Algoritması ile en iyi çoklu taşıma rotası seçmeye çalışmıştır. Banomyong (2001) bir çalışmada; maliyet, transit süre değişkenlerine mesafe ve yükün zamanında teslimini ifade eden güvenilirlik değişkenini de ekleyerek ortaya koyduğu modelde Laos ve Hollanda arasında en iyi çoklu taşıma rotalarını belirlemiştir. Kengpol vd. (2011) güvenilirlik kavramına risk açısından yaklaşarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve çok amaçlı karar verme yöntemlerinden 0-1 Hedef Programlama yöntemlerini entegre ederek, önceki dönemlerde ortaya konan rota seçim değerlendirmelerini geliştirmiştir. Sürdürülebilir çoklu taşıma rotası seçimi ile ilgili değerlendirilebilecek özgün bir çalışma olarak; Kengpol vd. (2012) bir başka çalışmada maliyet, transit süre, gecikme riski ve çevresel etki faktörlerinin çok kriterli bir karar verme yöntemi ile önemini ölçerek, elde edilen önem düzeylerini optimizasyon yönteminde girdi olarak kullanmış ve uygun rotalar tespit etmiştir. En iyi rota seçimi ile ilgili çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan değişkenler, yöntemler ve çalışmalar kapsamında analizi yapılan taşıma koridorları tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Çoklu Taşıma Rota Seçim Çalışmaları

Yazar, Yıl	Değişkenler	Yöntem	Koridor
Boardman vd. (1997)	Transfer maliyeti, transfer süresi, taşıma maliyeti, taşıma süresi	K-En Kısa Yol Algoritması	Atlanta-Fort Worth
Bookbinder ve Fox (1998)	Maliyet, transit süre	Karşılaştırmalı Analiz	Kanada-Meksika
Banomyong, (2001)	Maliyet, transit süre, mesafe	Maliyet-Süre Modeli	Laos-Singapur
Banomyong, ve Beresford (2001)	Maliyet, transit süre, mesafe, güvenilirlik	Maliyet-Süre Modeli	Laos-Hollanda
Grasman (2006)	Maliyet, transit süre, güvenilirlik	En kısa yol algoritması	-
Chang (2007)	Maliyet,transit süre, kapasite, yük tipi	Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Tayvan-ABD
Qu ve Chen (2008)	Maliyet, transit süre, hizmet kalitesi, emniyet, kapasite, trafik yoğunluğuna etki	AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve ANN (Yapay Sinir Ağları)	-
Cho vd. (2010)	Maliyet, transit süre	En kısa yol algoritması - Dinamik Programlama	G. Kore-Hollanda
Yang, vd. (2011)	Maliyet, transit süre, güvenilirlik	Hedef Programlama	Çin-Hindistan
Kengpol vd. (2011)	Maliyet, transit süre, hasar riski, altyapı riski, bürokratik riskler	AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci), Risk Analizi, 0-1 Hedef Programlama	Tai-Vietnam

Tablo 1: Çoklu Taşıma Rota Seçim Çalışmaları (devam)

Yazar, Yıl	Değişkenler	Yöntem	Koridor
Kengpol vd. (2012)	Maliyet, transit süre, çevresel etki, hasar riski, altyapı riski, bürokratik riskler	AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci), Risk Analizi, 0-1 Hedef Programlama	Tai-Vietnam
Kopytov ve Abramov (2012)	Maliyet, transit süre, yük hasarı, güvenlik, teslim süresine uyum, emisyon salım miktarı, gürültü, trafik kazası	AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci)	Çin-Rusya
Kim ve Chang (2014)	Maliyet, transit süre, trafik yoğunluğu, altyapı seviyesi, hasar riski, bürokratik risk	Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)	G. Kore-Rusya
Moon, vd. (2015)	Minimum maliyet ve transit süre, maksimum hizmet kalitesi, güvenlik ve farkındalık	TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)	G.Kore-Avrupa
Hao ve Yue (2016)	Maliyet, transit süre, kargo değeri, mesafe	Karışık Tam Sayılı Programlama, Dinamik Programlama	Chengdu-Shenyang
Seo vd. (2017)	Maliyet, transit süre, mesafe	Maliyet-Süre Modeli	Çin-Hollanda
Pham ve Yeo (2018)	Maliyet, transit süre, güvenilirlik	Çoklu Taşıma Rota Seçimi	Çin-Vietnam

Rota seçimi ile ilgili çalışmalarda dikkat çeken durum genelde maliyet ve transit süre değişkenleri göz önüne alınarak bir rota seçimi gerçekleştirilmesidir. Sürdürülebilirlik kavramının tüm değişkenlerinin

göz önüne alındığı bütünleşik bir model ile rota seçimi daha geçerli sonuçlar ortaya koyacaktır. Bu noktadan hareketle literatür araştırmasının sonraki aşamasında sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri incelenmiştir.

Sürdürülebilir ulaştırma ile ilgili ilk tanımlama Brundtland Raporu olarak da bilinen Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD: World Commission on Environment and Development, 1987) tarafından ‘gelecekteki nesillerin ulaşım ve yer değiştirme ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerini tehlikeye atmadan mevcut ulaşım ve yer değiştirme ihtiyaçlarımızın karşılanması’ olarak tanımlanmıştır. Avrupa İstatistik Ofisi (EUROSTAT: European Statistical Office), Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD: The Organisation for Economic Co-operation and Development), Dünya Bankası ve Avrupa Çevre Ajansı gibi kurumlar uzun yıllardır ulaştırma ile ilişkilendirilebilecek, sürdürülebilirlik ile ilgili göstergeler geliştirmekte ve yayınlamaktadır. Bu raporlarda dünya genelinde, sürdürülebilirliğin sağlanması için gerekli ekonomik verimliliği, sosyal faydayı arttırmaya ve çevreye zararı azaltmaya yönelik sürdürülebilirlik kriterleri önerilmiştir.

Uluslararası kurumların yayınladığı göstergelerin yanı sıra; sürdürülebilir ulaştırma göstergelerinin tespitine yönelik çalışmalar, şehir içi yolcu taşımacılığında veya kentsel lojistik anlamında sürdürülebilir bir ulaştırma ağı oluşturmaya amaçlayan göstergelerin belirlenmesine yöneliktir. Çalışmalar incelendiğinde; sürdürülebilir ulaştırmada göstergelerin belirlenmesi ile ilgili en kapsamlı çalışmaları, Litman ve Burwell (2006), Litman (2007), Litman (2019) ve Jeon vd. (2013) gerçekleştirmiştir. Litman ve Burwell (2006) sürdürülebilirlik göstergelerini geleneksel göstergeler, yalın göstergeler ve kapsamlı göstergeler olarak gruplandırmıştır. Geleneksel göstergeler; karayolu hizmet kalitesi, ortalama trafik akım hızı, otopark imkanları ve fiyatları gibi trafik durumu ile ilgili kriterlerdir. Temel göstergeler olarak; fosil yakıt kullanımı, trafik kazası sonucu yaralanma ve ölüm vakaları ve arazi kullanımı gibi faktörler belirtilmiştir. Kapsamlı göstergeler sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal amaçlarının üçünü de aynı anda etkileyen göstergelerdir. Litman (2007) sürdürülebilirlik değerlendirmesi için gerekli göstergelerin seçilmesinde planlama süreci, alternatiflerin yeterliliği, yolculuk davranışı, fiziksel etkiler, çevre ve toplum üzerine etkiler, ekonomik etkiler ve performans hedefleri olarak yedi adet seviye belirlemiştir. Planlama süreci ulaştırma yatırımlarının içeriğini ölçmeye dönük göstergeleri sunarken, alternatif yeterliliği ile ilgili kriterler de yeterli ulaştırma opsiyonu olup olmadığına yönelik ölçümler yapmaya dönüktür. Yolculuk davranışı daha çok yolcu taşımacılığında tüketici davranışlarını inceleyen, örneğin araç sahiplik

oranı gibi göstergeleri ortaya koyar. Fiziksel etki emisyon salım, kaza sayısı gibi göstergeler ile zararın miktarını ölçmeyi amaçlarken, çevre ve toplum üzerindeki etkiler fiziksel etki göstergelerinin doğa ve toplumdaki etkilerini ölçmeyi amaçlamaktadır. Jeon vd. (2013) bu çalışmada 15 farklı gösterge önererek, ekonomik, çevresel, sosyal ve ulaştırma sistemi sürdürülebilirliği boyutlarında gruplandırarak, Atlanta Bölgesi'nde ulaşım sistemi sürdürülebilirliğini ölçmüştür. (Rajak vd. 2016) çalışmasında göstergeleri belirleyerek ulaştırma kurumlarının sürdürülebilirlik değerlendirmesi yapabilmesine yönelik göstergelerin önem düzeyini Bulanık Mantık Yöntemi ile belirlemiştir. Çetinkaya ve Devenci (2019) çalışmalarında sürdürülebilir ulaştırma göstergelerini literatür analizi ile elde ederek uzman görüşmesi yöntemi ile çoklu taşıma sürdürülebilirlik performans ölçümü için gerekli olan göstergeleri belirlemişlerdir. Bu çalışmada elde edilen göstergeler ve açıklamaları aşağıda belirtilmiştir:

Ekonomik Göstergeler:

- ***Ulaştırma bütçesi-Maliyet:*** Orijinden destinasyona ulaştırma için katlanılması planlanan veya katlanılan toplam maliyet.
- ***Transit süre:*** Ulaştırma faaliyetinin başlangıcından bitişine kadar terminallerde, aktarma merkezlerinde bekleme süreleri de dahil olmak üzere geçen toplam süre.
- ***Yük hasar riski:*** Yükün güvenlik/emniyet eksikliği sonucu zarar görme durumu.
- ***Ulaştırma hizmetinin güvenilirliği:*** Tam talep edilen zamanda hedef noktaya ulaştırılma durumu.
- ***Bürokratik riskler:*** Geçiş ülkesinde politik problem, ülkeler arası prosedür farklılıkları durumlarının varlığı.

Çevresel Göstergeler:

- ***Emisyon salım miktarı:*** Fosil yakıt tüketimi sonucu oluşan, iklim değişikliğine sebep olan CO₂, CFC'ler, CH₄ v.b. salım miktarı.

Sosyal Göstergeler:

- ***Güvenlik:*** Ulaştırma aracının hareketini sağlayan personel veya çevredeki şahısların muhtemel kaza sonucu ölüm ya da yaralanma durumu.
- ***Emniyet:*** Ulaştırma aracının hareketini sağlayan personelin kriminal olay sonucu ölüm ya da yaralanma durumu.

3. ARAŞTIRMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir çoklu taşıma performans ölçümü yapabilmek için gerekli göstergelerin önem düzeylerinin belirlenmesidir. Bu amaçla; literatür taraması ile elde edilen sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri arasından BWM (Best-Worst Method) yöntemi ile uzman görüşü alınarak sürdürülebilir çoklu ulaştırma göstergelerinin önem düzeyi belirlenmeye çalışılmıştır. Burada elde edilen sonuçlara göre; önemli görülen göstergeler belirlenerek, karar vericiler ve politika oluşturucular tarafından hangi göstergeler ile ilgili iyileştirme yapılarak çoklu taşımada sürdürülebilirlik hedefine ulaşılabileceği ortaya konabilir.

4. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Çalışmada sürdürülebilir çoklu taşıma rotası seçimi için gerekli kriterlerin ağırlıklandırılması amacı ile yeni bir, çok kriterli karar verme yöntemi olarak, Rezaei (2015) tarafından geliştirilen BWM (Best-Worst Method) Yöntemi kullanılmıştır. BWM (Best-Worst Method); çok kriterli karar verme problemlerinin çözümüne yönelik, ikili karşılaştırmalar içeren bir yöntemdir. İkili karşılaştırmalar sayısal bir ölçeğin de yardımı ile özdeğer (eigen) yaklaşımı ile yapılır. BWM (Best-Worst Method)'in bir diğer ikili karşılaştırma içeren, çok kriterli karar verme metodu olan AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci)'den en önemli farkı ikili karşılaştırma aşamasında tüm kriterleri birbirleri ile karşılaştırmak yerine en yüksek düzeyde önemli bulunan ve en düşük düzeyde önemli bulunan iki kriteri, diğer kriterler ile karşılaştırmasıdır. Bu sebeple, BWM (Best-Worst Method)'in AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci)'den en önemli iki farkı; daha az karşılaştırma verisine ihtiyaç duyması ve tutarlı karşılaştırmaların sonucu daha güvenilir bir sonuç ortaya koyması olarak belirtilebilir (Rezaei, 2015). BWM yönteminde temel aşamalar şu şekildedir:

1. Kriter kümesinin oluşturulması.
2. En çok önemli veya en çok tercih edilebilir olacağı düşünülen ve en az önemli veya en az tercih edilebilir olacağı düşünülen kriterin seçimi.
3. En çok önemli olarak belirtilen kriter ile diğer kriterlerin ikili karşılaştırmasının yapılması.
4. En az önemli olarak belirtilen kriter ile diğer kriterlerin ikili karşılaştırmasının yapılması.
5. Optimal ağırlıkların tespit edilmesi.

4.1 BWM İkili Karşılaştırma Ölçeği:

Craig (1973)'e göre ulaştırma türü seçimlerinde yöneticilerin subjektif yaklaşımları göz ardı edilmemelidir. Bu çalışmada; yöneticilerin yaklaşımlarının rota seçiminde göz önüne alınması amacı ile kullanılan BWM (Best-Worst Method) çok kriterli karar verme yöntemi, ilgili konu hakkında uzman kişilerden görüş alınarak uygulanmıştır. Burada amaç uzman kişilerin niteliksel görüşlerini nicelleştirerek, sürdürülebilir çoklu taşıma göstergesi ile ilgili genel yargının ne olduğunu tespit etmektir. Rezaei (2016), Rezaei vd. (2016) ve Guo ve Zhao (2017) BWM yöntemini kullandığı çalışmalarında Saaty (1987) tarafından, AHP yöntemi için geliştirilen ikili karşılaştırma ölçeğini kullanmışlardır. İkili karşılaştırma ölçeği tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: BWM İkili Karşılaştırma Ölçeği (Saaty, 1987)

Önem derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki faktör eşit öneme sahiptir.
3	Orta Derecede Önemli	Bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden yüksek kuvvetle daha önemlidir.
9	Mutlak Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden çok yüksek kuvvetle daha önemlidir.
2,4,6,8	Ara Değerler	Her bir tercihteki derecelerin ara derecelerini belirtir.

En çok önemli olduğu düşünülen veya en az önemli olduğu düşünülen kriter ile diğer kriterlerden herhangi birisi karşılaştırılır iken, görüşü alınan uzman, en çok önemli veya en az önemli kriter ile karşılaştırılan diğer kriterin aynı derecede önemli olduğunu düşünüyor ise karşılaştırma işleminde bir puanını belirtir. Eğer uzman bir kriterin

karşılaştırılan diğer kriterden çok yüksek kuvvetle önemli olduğunu düşünüyor ise 9 değerini belirtir. 2, 4, 6, 8 değerleri de puanlamada ara değer olarak kullanılabilir.

4.2 Göstergelerin İkili Karşılaştırması:

N adet kriter içerisinde uzmanlar tarafından yapılan en çok önemli ve en az önemli kriter değerlendirilmesinden sonra, diğer kriterlerin bu iki referans kriter ile karşılaştırılması gerekir. Buna göre; $a_{ij} \geq 1$ olması şartı ile bir ikili karşılaştırma değeri ise; ve i en çok önemli kriteri ve/veya j en az önemli kriteri belirtiyor ise a_{ij} ikili karşılaştırmasıdır. a_{ij} referans karşılaştırmasında ne i ne de j en çok önemli ve/veya en az önemli kriteri belirtmiyor ise a_{ij} ikili karşılaştırması bir ikincil karşılaştırmadır (Rezaei, 2015). BWM diğer çok kriterli karşılaştırma yöntemlerinden farklı olarak sadece referans karşılaştırmalar üzerinden elde edilen vektörler ile minimum-maksimum problemi çözümü ile sonuca ulaşmaya çalışır. Burada elde edilen iki tip vektör; en çok önemli olduğu belirtilen kriteri diğer kriterler ile karşılaştıran A_B vektörü ve en az önemli kriteri diğer kriterler ile karşılaştıran A_W vektörleridir.

Bir ağırlıklandırma probleminde n adet kriterin karşılaştırılacağını varsayarsak; a_{Bj} en çok önemli kriterin diğer kriterlerden j'inci kriterine göre üstünlük puanını gösteriyor, a_{jW} j'inci kriterin en az önemli kriterine göre üstünlük puanını gösteriyor ise;

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$$

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T$$

şeklinde. Burada en çok önemli ve en az önemli kriterlerin kendileri ile karşılaştırma puanları yani, $a_{BB}=1$ ve $a_{WW}=1$ olduğu açıktır.

4.3 Optimal Gösterge Ağırlıklarının Belirlenmesi:

Kriterlerin ağırlıklarının bulunabilmesi için j kriteri için en çok önemli kriterden ve en az önemli kriterden maksimum sapmaların mutlak değeri minimize edilmeye çalışılır. Bu durumu matematiksel olarak Rezaei vd. (2016) şöyle açıklamıştır:

$$\min \max_j \{|w_B - a_{Bj} w_j|, |w_j - a_{jW} w_W|\}$$

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, j=1, \dots, n$$

Buradaki değişkenler; w_B ; en önemli olarak belirtilen kriterin ağırlığı, a_{Bj} ; en önemli olarak belirtilen kriterin j kriterine karşı üstünlük derecesi, w_j ; j kriterinin ağırlığı, a_{jW} ; j kriterinin en az önemli olarak belirtilen kritere karşı üstünlük derecesi, n ise toplam kriter sayısıdır. Formüllerde verilen matematiksel model çözümlenmesi şöyle yazılabilir:

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \xi^L$$

Kısıtlar:

$$|w_B - a_{Bj} w_j| \leq \xi^L$$

$$|w_j - a_{jW} w_W| \leq \xi^L$$

$$\sum_j w_j = 1$$

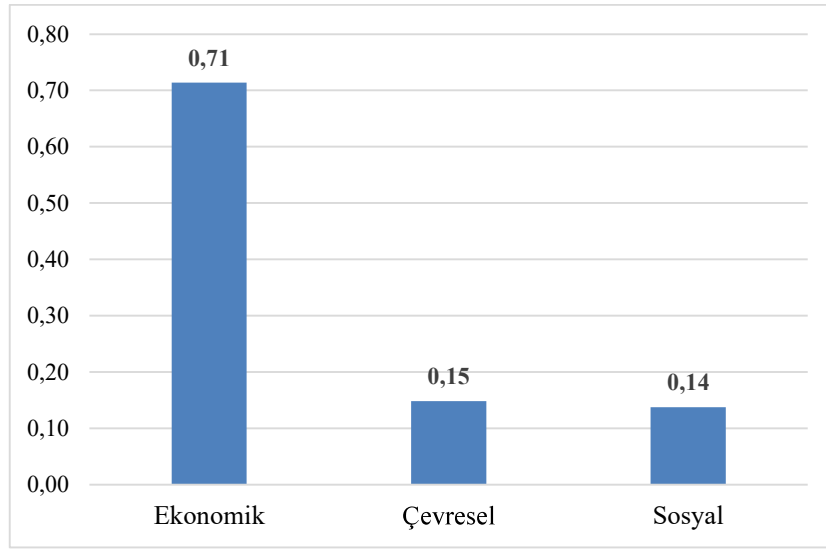
$$w_j \geq 0, j=1, \dots, n$$

Belirtilen doğrusal programlama modeli çözümlenerek, w_1, w_2, \dots, w_n ağırlıkları ve ξ^L değeri elde edilir. ξ^L oranı; ikili karşılaştırmalar arasındaki tutarlılığı, dolayısıyla sonucun tutarlılığını ortaya koyar. ξ^L (tutarlılık oranı) değerinin mümkün olduğunca sifira yakın olması beklenir. ξ^L (tutarlılık oranı) 0,10' dan küçük olduğu durumlarda, elde edilen sonucun tutarlı olduğu kabul edilir. ξ^L (tutarlılık oranı) değerinin 0,10' dan büyük olduğu durumlarda ise ikili karşılaştırma analizlerinin tekrar uygulanması gerekir.

5. ARAŞTIRMANIN BULGULARI

Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin önem düzeylerinin belirlenmesi amacı ile üretim ve ihracat yapan bir firmada üç lojistik operasyon sorumlusu, bir lojistik operasyon yöneticisi ve firma lojistik satın alma faaliyetlerinden sorumlu bir yönetici olmak üzere beş yönetici ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen form aracılığı ile ilgili kişilerden sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinden en çok önemli ve en az önemli bulduklarını belirtmeleri ve sonrasında en çok önemli ve en az önemli gördükleri göstergeleri, belirtilen formda ve tablo 2' de görülen, ikili karşılaştırma ölçeğini kullanarak karşılaştırmaları istenmiştir. Verilen cevaplar BWM Yöntemi ile Excel Solver eklentisi üzerinde analiz edilmiş ve aşağıda belirtilen bulgulara ulaşılmıştır.

İlk olarak sürdürülebilirlik temel kriterleri ağırlıklandırıldığında; üç temel sürdürülebilirlik kriteri içerisinde en önemli kriter %71 oranında bir önem derecesi ile **ekonomik** kriterdir. Bu kriter grubunu %15 önem derecesi ile **çevresel kriter** ve %14'lük önem derecesi ile **sosyal kriter** takip etmektedir. Üç temel kriterin ağırlıklandırılması ile ilgili tutarlılık oranı $0,062 < 0,10$ olduğu için elde edilen sonuçlar tutarlıdır. Temel kriter gruplarının önem düzeylerinin karşılaştırma grafiği şekil 1 'de verilmiştir.

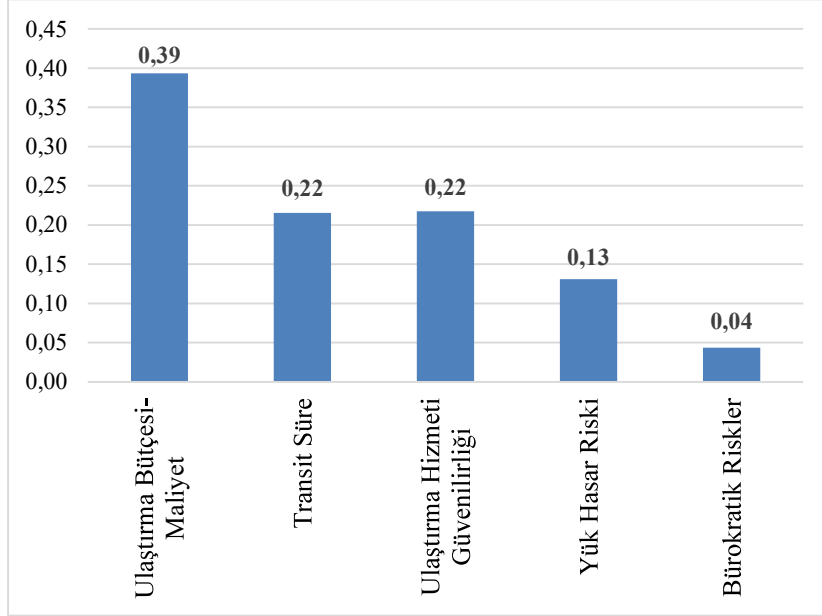


Şekil 1: Sürdürülebilirlik Temel Kriterler Önem Düzeyleri

Sürdürülebilir çoklu taşıma için ekonomiklik temel kriterinin altında yer alan ulaştırma bütçesi-maliyet, transit süre, ulaştırma hizmetinin güvenilirliği, yük hasar riski ve bürokratik riskler olarak beş adet gösterge arasında en önemli ve en az önemli olanlar belirlendikten sonra ikili karşılaştırmalar yapılmış ve şu sonuçlar elde edilmiştir:

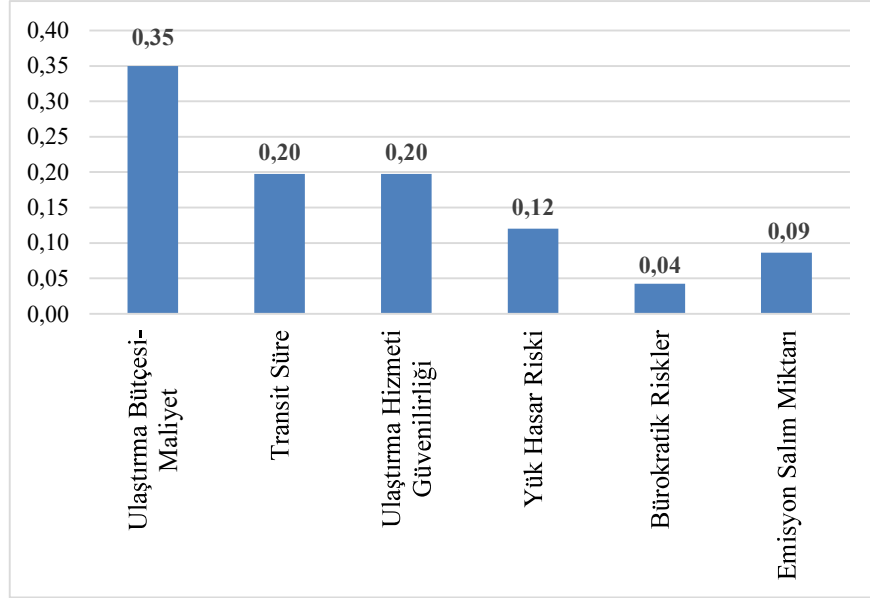
Buna göre sürdürülebilirliğin ekonomiklik kriteri içerisinde %39'luk bir ağırlık ile ulaştırma bütçesi-maliyet en önemli göstergedir. Transit süre ve ulaştırma hizmetinin güvenilirliği gibi iki göstergenin önem ağırlıklarının %22 olarak eşit olması bu iki kriterin birbiri ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Yük hasar riski önem düzeyi %13 olarak belirlenirken, ekonomiklik kriteri kapsamında bürokratik risklerin %4'lük bir önem ağırlığı ile en az önemli gösterge olduğu görülmektedir. Ekonomiklik kriterine ait göstergelerin ağırlıklandırılması ile ilgili tutarlılık oranı (ξ^L) $0,089 < 0,10$ olduğu için elde edilen sonuçlar tutarlıdır.

Ekonomik sürdürülebilirlik göstergelerinin önem düzeyleri karşılaştırma grafiği Şekil 2 'de verilmiştir.



Şekil 2: Ekonomik sürdürülebilirlik göstergeleri önem düzeyleri

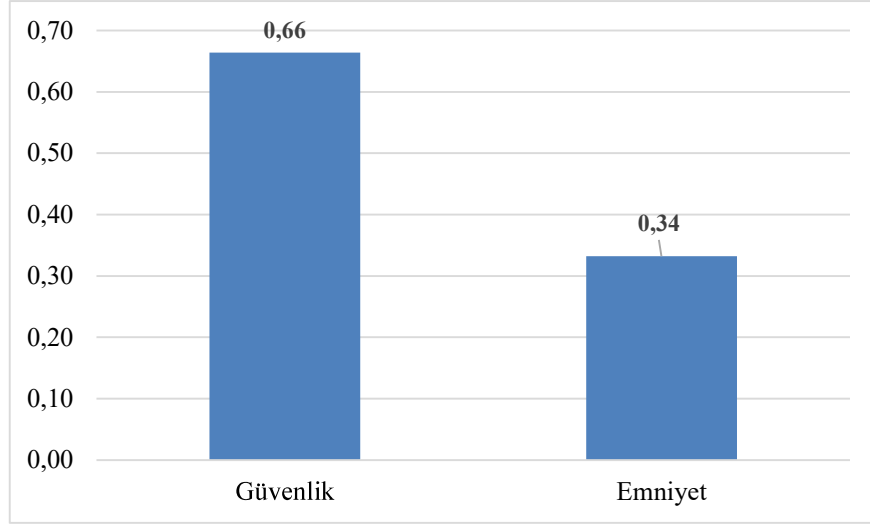
Ekonomik kriter başlığı altındaki, yukarıda ağırlıklandırması yapılan beş adet göstereye, çevresel kriter başlığı kapsamındaki emisyon salım miktarı göstergesi eklenerek; yani ekonomik sürdürülebilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik kapsamında bir karşılaştırma yapılarak; önceki karşılaştırmaya göre gösterge ağırlıklarında bir değişiklik olup olmadığı gözlemlenmiş ve sonuçlar Şekil 3' de gösterilmiştir. Bu değerlendirme ile ilgili tutarlılık oranı (ϵ^L) $0,087 < 0,10$ 'dir. Bu değer elde edilen ağırlıklandırma sonuçlarının tutarlılığını göstermektedir.



Şekil 3: Ekonomik-çevresel sürdürülebilirlik göstergeleri önem düzeyleri

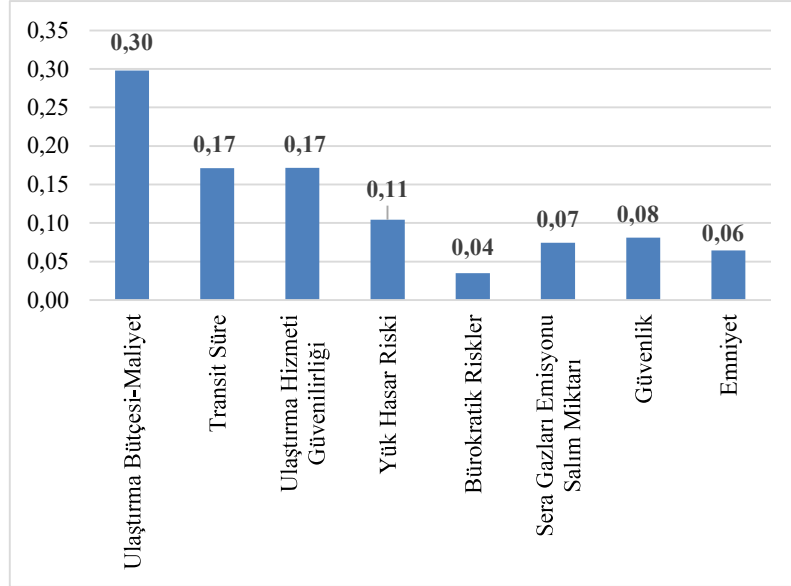
Ekonomikliği sağlayan göstergelere çevresel bir göstergenin eklenmesi herhangi bir göstergenin önem düzeyinin yüksek seviyede düşmesine sebep olmamıştır. Buna göre; beş adet ekonomik sürdürülebilirlik göstergesine emisyon salım miktarı göstergesi eklendiğinde; ulaştırma bütçesi-maliyet göstergesinin önem ağırlığı %39'dan %35'e, transit süre ve ulaştırma hizmetinin güvenilirliği göstergelerinin her ikisinin de önem düzeyi %22'den %20'ye düşmüştür. Yük hasar riski göstergesinin önem düzeyi bir puanlık bir düşüşle %12'ye inmiş, bürokratik riskler göstergesinin önem düzeyi önceki ağırlıklandırma işlemine göre aynı kalmıştır. Emisyon salım miktarı göstergesinin önem düzeyi %9'dur.

Sürdürülebilir çoklu taşıma kavramının sosyal boyutu için güvenlik ve emniyet olarak iki gösterge değerlendirilmiş, güvenlik göstergesi emniyet göstergesinden yaklaşık iki kat önemli bulunmuştur. Bu iki gösterge karşılaştırıldığında Şekil 4 'te de görüldüğü üzere güvenlik göstergesi %66, emniyet göstergesi ise %34 önem ağırlığına sahiptir. Burada iki gösterge karşılaştırıldığı için ϵ^L değeri 0,00 olarak elde edilir.



Şekil 4: Sosyal Sürdürülebilirlik Göstergeleri Önem Düzeyleri

Son olarak ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilir çoklu taşımacılık dahilinde mevcut sekiz adet gösterge karşılaştırıldığında; ulaştırma bütçesi-maliyet %30 önem düzeyi ile en önemli gösterge olarak, bürokratik riskler tüm karşılaştırma analizlerinde olduğu gibi bu analizde de %3 önem düzeyi ile en az önemli gösterge olarak tespit edilmiştir. Tüm aşamalarda gözlemlendiği gibi bu aşamada da transit süre ve ulaştırma hizmetinin güvenilirliği göstergelerinin %17 ile eşit önem ağırlığına sahip olduğu görülmüştür. Sürdürülebilir çoklu taşıma göstergelerinin ağırlıklandırması için tutarlılık oranı (ξ^L) 0,082 elde edilmiştir. (ξ^L) < 0,10 olduğu için elde edilen değerlendirme sonuçları tutarlıdır. Sürdürülebilir çoklu taşımada, tüm göstergelerin önem ağırlıkları değerlendirmesinde sekiz adet göstergenin önem düzeyleri şekil 5' de gösterilmiştir.



Şekil 5: Sürdürülebilir Çoklu Taşıma Göstergeleri Önem Düzeyleri

Ekonomik-çevresel-sosyal sürdürülebilir çoklu taşıma göstergeleri önem düzeyleri; ulaştırma bütçesi-maliyet %30, transit süre %17, ulaştırma hizmeti güvenilirliği %17, yük hasar riski %11, bürokratik riskler %4, emisyon salım miktarı %7, güvenlik %8 ve emniyet %6' dır. Gösterge havuzuna sosyal göstergelerin eklenerek değerlendirme yapılması ekonomik göstergelerin önem düzeyinin çevresel göstergeye göre daha fazla azalmasına sebep olmuştur.

6. SONUÇ

Ulaştırmada yük ve yolcu taşımacılığı kapsamında ele alınan çoklu taşımacılık tüm ulaştırma türlerini öncelikle maliyet açısından entegre ederek fayda optimizasyonunu amaçlamaktadır. Sürdürülebilir ulaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için en temel gereklilik ekonomik ve sosyal etkisi yüksek, çevresel etkisi düşük rotaların planlanması ve seçimidir.

Bu çalışmada; çoklu taşımanın maliyet iyileştirme amacı sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri ile genişletilerek, çoklu taşıma kavramı sürdürülebilir ulaştırma açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla sürdürülebilir ulaştırmanın sağlanabilmesi için gerekli göstergelerin yük taşıyanlar açısından önem düzeyi çok kriterli bir karar verme yöntemi olan BWM (Best-Worst Method) metodu ile tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu kapsamda literatürden elde edilen çoklu ulaştırma göstergeleri yük taşıyan firma uzman görüşleri alınarak önem düzeyine göre sıralanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; sürdürülebilirliğin üç temel kriteri ekonomiklik, düşük çevresel etki ve yüksek sosyal etki arasında ekonomiklik en yüksek önem düzeyine sahiptir. Ekonomik göstergeler arasında ise sırası ile maliyet-ulaştırma bütçesi, transit süre ve ulaştırma hizmetinin güvenilirliği önem düzeyi yüksek göstergeler olarak belirlenmiştir. Bu göstergelere çevresel bir gösterge olarak emisyon düzeyi eklendiğinde ekonomikliği temsil eden göstergelerin önem düzeyinin çok fazla değişmediği gözlenmiştir. Sürdürülebilirliğin tüm göstergeleri bir arada değerlendirildiğinde maliyet-ulaştırma bütçesi, transit süre ve ulaştırma hizmetinin güvenilirliği en yüksek önem düzeyine sahip göstergelerdir.

Çoklu taşımada sürdürülebilir rotaların seçimi yük taşıyanlar ve taşıyanlar için rekabet düzeyini arttırarak, bölgesel ekonomi ve yaşanabilir bir çevre için olumlu katkı sağlayacaktır. Bu bakımdan sürdürülebilir ulaştırmanın çevresel boyutunun önem kazandırılması amacı ile politikalar geliştirilmesi, yük taşıyanlar ve yük taşıyanların bu konuda teşvik edilmesi gerekliliği açıktır.

Bu çalışma, sürdürülebilirlik değerlendirmeleri için sürdürülebilir çoklu taşıma rotalarının seçimine yardımcı olmaktadır. İlerideki çalışmalarda, elde edilen gösterge önem düzeyine göre rota performansları da ortaya konarak rota seçimi gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda bu çalışma, çoklu ulaştırmayı sürdürülebilirlik açısından değerlendirmek isteyen gerçek vaka incelemeleri ve karar desteği uygulamaları için bir aşama olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Banomyong, R. ve Beresford, A. (2001). Multimodal transport: the case of Laotian garment exporters, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 9, 663-685.

Banomyong, R. (2001). Modelling freight logistics: The Vientiane-Singapore corridor. *Logistics 2001: International Conference on Integrated Logistics*. Singapur.

Boardman, B.S., Malstrom, E.M., Butler, D.P. ve Cole, M.H. (1997). Computer assisted routing of intermodal shipments. *Computers and Industrial Engineering*, 33, 311-314.

Bookbinder, J.H. ve Fox, N.S. (1998). Intermodal routing of Canada-Mexico shipments under NAFTA. *Transportation Research-E (Logistics and Transportation Rev.)*, 4, 289-303.

Brundtland Raporu. (1987).

https://www.are.admin.ch/are/en/home/sustainable-development/international-cooperation/2030agenda/un_-milestones-in-sustainable-development/1987--brundtland-report.html, Erişim Tarihi: 12.08.2018.

Chang, T.S. (2007). Best routes selection in international intermodal networks. *Computers & Operations Research*, 35, 2877-2891.

Cho, J.H., Kim, H.S. ve Choi, H.R. (2010). An intermodal transport network planning algorithm using dynamic programming-A case study: from Busan to Rotterdam in intermodal freight routing. *Appl. Intell*, 36, 529-541.

Craig, T. (1973). A behavioral model of modal selection, Penn State University. *Transportation Journal*, 12,3, 24-28.

Çetinkaya, V. ve Deveci, A. (2019). Sürdürülebilir çoklu ulaştırma göstergelerinin belirlenmesi. 4. *Ulusal Liman Kongresi*, İzmir.

Grasman, S.E. (2006). Dynamic approach to strategic and operational multimodal routing decisions. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 1, 96-106.

Guo, S. ve Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-Based Systems*, 121, 23-31.

Hao, C. ve Yue, Y. (2016). Optimization on combination of Transport Routes and Modes on Dynamic Programming for a Container Multimodal Transport. *Procedia Engineering*, 137, 382-390.

Jeon, C.M., Amekudzi, A.A., Guensler R.L. (2013). Sustainability assessment at the transportation planning level: performance measures and indexes. *Transport Policy*, 25, 10-21.

Karaman, B. (2014). 0-1 *Hedef programlama destekli bütünlük AHP-VIKOR yöntemi: Hastane yapımı projeleri seçimi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi End. Müh, Ankara.

Kengpol, A., Meethom, W. ve Touminen, M. (2011). The development of a decision support system in multimodal transportation routing within greater Mekong sub-region countries. *International Journal of Production Economics*, 140, 691-701.

Kengpol, A., Tuamee, S., Meethom, W. ve Touminen, M. (2012). Design of a decision support system on selection of multimodal transportation with environmental consideration between Thailand and Vietnam. *AIJSTPME*, 2, 55-63.

Kim H.J. ve Chang, Y.Y. (2014). Analysis of an intermodal transportation network in Korea from an environmental perspective. *Transportation Journal*, 1, 79-106.

Kopytov, E. ve Abramov, D. (2012). Multiple-criteria analysis and choice of transportation alternatives in multimodal freight transport system. *Transport and Telecommunication*, 13, 148-158.

Litman, T. ve Burwell, D. (2006). Issues in sustainable transportation. *International Journal of Global Environmental Issues*, 4, 331-347.

Litman, T. (2007). Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2007, 10-15.

Litman, T. (2019). Developing indicators for sustainable and livable transport planning. *Victoria Transport Policy Institute*, <https://www.vtpi.org/wellmeas.pdf>, Erişim Tarihi: 12.10.2019.

Moon, D., Kim, D. ve Lee, E. (2015). A study on competitiveness of sea transport by comparing international transport routes between Korea and EU. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 1, 1-20.

Omman, I. ve Spaangenberg, J.H. (2002). Assessing social sustainability. *Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics*. Tunus.

Pham, T.Y. ve Yeo, G.T. (2018). A comparative analysis selecting the transport routes of electronics components from China to Vietnam. *Sustainability*, 10, 1-18.

Qu, L. ve Chen, Y. (2008). A hybrid MCDM method for route selection of multimodal transportation network. *LNCS*, 5263, 374-383.

Rajak, S., Parthiban, P. ve Dhanalakshmi, R. (2016). Sustainable transportation systems performance evaluation using fuzzy logic. *Ecological Indicators*, 71, 503-513.

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.

Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130.

Rezaei, J., Nispeling, T., Sarkis, J. ve Tavasszy, L. (2016). A supplier selection life cycle approach integrating traditional and environmental criteria using the best worst method. *Journal of Cleaner Production*, 135, 577-588.

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathl Modelling*, 9, 3-5, 161-176.

Seo, Y.J., Chen, F. ve Roh S.Y. (2017). Multimodal transportation: the case of laptop from Chongqing in China to Rotterdam in Europe. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 3, 155-165.

Turan, G. (2015). Çok Kriterli Karar Verme. B.F. Yıldırım, (Ed.), E. Önder, (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* (s.15-20). Bursa: Dora Yayınevi.

UNCTAD (1981). *Review of Maritime Transport Report*. https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt1981_en.pdf, Erişim Tarihi: 03.01.2019.

UNCTAD (2015). *World Investment Report*. <https://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=1358>, Erişim Tarihi: 03.01.2019.

Yang, X., Low, J. ve Tang, L.C. (2011). Analysis of intermodal freight from China to Indian Ocean: A goal programming approach. *Journal of Transport Geography*, 19, 515-527.